



## ТАБИЙ ҲАВО КОНВЕКЦИЯЛИ БИЛВОСИТА ҚУЁШ ҚУРИТГИЧ ҚУРИЛМАЛАРИДА УЗУМНИ ҚУРИТИШ ЖАРАЁНИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ

Ибрагимов С.С., Мирзаев Ш.М.

Бухоро давлат университети, Бухоро, Ўзбекистон

**Аннотация:** Ишда билвосита турдаги қуришти қурилмасида табиий конвекция жараёни математик моделлаштирилган бўлиб, қурилмада иссиқлигини йиғиши ва узатиши учун сув ишлатилган. Моделнинг бошланғич шарти сифатида муаллифлар томонидан олинган тажриба натижалари ишлатилган. Математик модель учун Буссинеск гипотезасини ҳисобга олган ҳолда Ренольдс тенгламалари ва ҳароратни тақсимлаш тенгламалари ишлатилган. Ишда бошланғич тенгламаларнинг фарқли яқинлашиши учун SIMPLE назорат ҳажмий усули қўлланилган. Қуришти камерасида ҳарорат ва тезлик майдонининг изолиниялари аниқланган. Симуляциялар шуни кўрсатадики, камера ҳажми бўйича ҳарорат тақсимоти деярли бир хил. Ушбу режимда камерадаги ҳавонинг ҳаракат тезлиги деярли бир хил сақланиб қолиши аниқланган, ҳавонинг максимал тезлиги қуришти камерасининг чиқиш нуқтасида бўлиб, 0,01-0,02 м/с тезликгача эканлиги аниқланган.

**Калит сўзлар:** қуришгич, табиий конвекция, иситиш, узумни қуришти, ҳаво, қуришти камераси, қуришти жараёни.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЛНЕЧНОЙ СУШКИ ВИНОГРАДА В УСТАНОВКАХ КОСВЕННОГО ТИПА С ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИЕЙ ВОЗДУХА

Ибрагимов С.С., Мирзаев Ш.М.

Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

**Аннотация:** В работе математически моделируется процесс естественной конвекции сушительного аппарата непрямого типа, для накопления и абсорбирования тепла которой используется вода. В качестве исходных данных используются данные эксперимента, которые провели авторы работы. Для математической модели использованы уравнения Рейнольдса и уравнения распределения температуры, при учете гипотезы Буссинеска. В работе для разностной аппроксимации исходных уравнений применен метод контрольного объема SIMPLE. Определены изолинии поля температуры и скоростей в сушительной камере. Моделированием показано, что распределение температуры по объему камеры почти одинаковое. Выявлено, что при таком режиме скорость по камере сохраняется почти одинаковой, максимальная скорость достигается в точке выхода из сушилки и будет равна 0,01-0,02 м/с.

**Ключевые слова:** сушилка, естественная конвекция, нагревание, сушка винограда, воздух, сушительная камера, процесс сушки.

## SIMULATION OF THE PROCESS OF SOLAR DRYING OF GRAPES IN INDIRECT TYPE INSTALLATIONS WITH NATURAL AIR CONVECTION

Ibragimov S.S., Mirzaev Sh.M.

Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan





**Annotation:** The paper mathematically models the process of natural convection of an indirect type dryer, for the accumulation and absorption of heat, which uses water. The data from the experiment conducted by the authors of the work is used as the initial data. The Reynolds equations and the temperature distribution equations are used for the mathematical model, taking into account the Boussinesq hypothesis. In this paper, the SIMPLE control volume method is used for the difference approximation of the initial equations. The isolines of the temperature and velocity fields in the drying chamber are determined. Modeling has shown that the temperature distribution over the chamber volume is almost the same. It was revealed that in this mode, the speed in the chamber remains almost the same, the maximum speed is reached at the exit point from the freezer and will be equal to 0.01-0.02 m/s.

**Key words:** dryer, natural convection, heating, drying grapes, air, drying chamber, drying process.

**Кириш.** Қишлоқ хўжалиги маҳсулотдарни узоқ муддатда сақлаш усулларидан бири уларни олдин қуришиб сўнгра ёпиқ жойларда сақлашдан иборатдир.

Қуёшда қуришиб анъанавий усул ҳисобланади ва кўп йиллар давомида ривожланган ва ривожланаётган мамлакатларнинг кўплаб фермер хўжаликлари томонидан қишлоқ хўжалиги ва озик-овқат маҳсулотларини сақлаш усули сифатида қўлланилиб келинмоқда.

Билвосита турдаги қуёш қуритгичлари табиий конвекция (пассив тип) ва мажбурий конвекция (фаол тип) ли қурилмаларга бўлинади. Табиий конвекцияли қуёш қуритгичларини яратиш жуда осон ва арзон нархда ишлаб чиқарилади.

Дунё олимлари томонидан чоп этилган кўпгина илмий мақолалар қуёш қурилмаларини (тизимларини) турли мақсадларда ишлатишган, уларда юз берадиган жараёнларни математик моделлаштирган [1,2,3,4].

Ўтказилган экспериментал тадқиқотларни [3] ҳар хил массали ҳаво оқим тезлигида ясси қуёш коллекторининг, қолаверса бутун бир қурилманинг ҳарорат профилини, иссиқлик узатиш хусусиятларини ва иссиқлик самарадорлигини таҳлил қилишга қаратишган. Шунингдек, экспериментал тадқиқотнинг кўп ўзгарувчили таҳлили асосида иссиқлик хусусиятларининг бир қатор бошқа ўзгарувчилари билан боғланшлари ўрнатилган ва экспериментал тадқиқот натижаларнинг ишончлилиқ даражасини янада ошириш мақсадида ушбу қурилмада юзага келган қуришиб жараёнининг физика - математик моделини яратишган.

Асосий параметрик компонентларнинг ўзаро боғлиқлигининг таҳлили қуёш нурланишининг интенсивлиги, қуришиб маҳсулоти таркиби ва қуришиб агентининг ҳароратлари, қурилма деворларининг сиртларида иссиқлик узатиш коэффициентлари, қурилманинг иссиқлик ва унумдорлик самарадорликлари ҳамда қуришиб вақти ўртасидаги боғлиқликни тасаввур қилиш имконини берди.

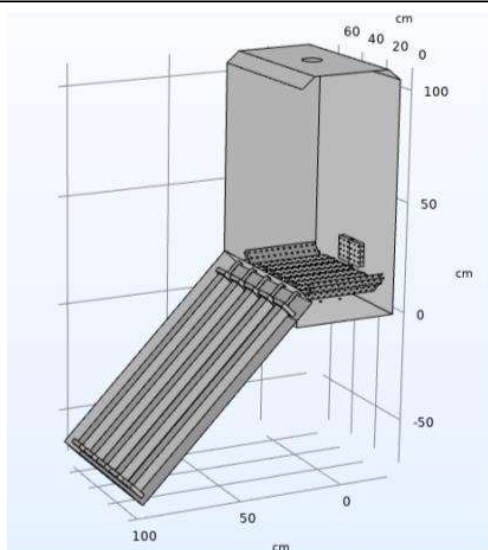
Натижалар шуни кўрсатадики, фойдали иссиқлик оқими, ҳавонинг иссиқлик узатиш коэффициенти ва коллекторнинг иссиқлик самарадорлиги қуёш нурланишининг интенсивлигига боғлиқ эмас. [3] ва [4] адабиётларда кўрсатилганига асосан билвосита турдаги табиий конвекцияли қуёш қуритгичида иссиқлик аккумулятори (кум) ишлатилганда қуритгич коллектори ичидаги доимий ҳаво ҳароратини бир хилда сақлашга имкон бериши ҳулоса қилинган.

Хўл маҳсулотни қуришиб шкафи камерасда қуришиб учун унга илиқ (иситилган) ҳаво олиб келиш зарур. Илиқ ҳаво етказиб бериш қуёш коллекторлари орқали амалга оширилган [5], бу қурилмада иссиқлик аккумулятори сифатида тош ишлатилган.

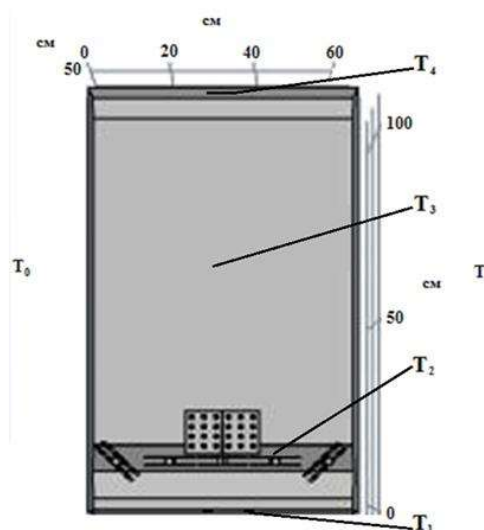
#### **Экспериментал қисм.**

Табиий ҳаво конвекцияли иссиқлик қувур коллекторли билвосита қуёш қуришиб қурилмасида қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қуришиб жараёнини математик моделлештиришга тегишли қурилманинг умумий кўриниши ва ўлчаш нукталари 1-расмда, қурилма асл кўриниши эса 2-расмда тасвирланган.





а)



в)

1-расм. Қуёш қуритгичининг умумий кўриниши: а) ички кўриниш; в) тажриба ўтказиш (ўлчаш) нуқталари.



2-расм. Қуёш қуритгичининг асл тасвири.

Айтиш жойизки, қуритиш шкафи камерасининг тубидан атроф-муҳитдан кирган ҳаво ҳарорати билан шу камеранинг шипидан (юқори қисмидан) атроф муҳитга чиқувчи буғ-ҳаво аралашмаси ҳароратларининг фарқи туфайли камера ичида ҳаво (буғ-ҳаво аралашмаси) зичликларининг фарқи юзага келади, натижада камерада ҳавонинг (буғ-ҳаво аралашмасининг) иссиқлик оқими юзага келади.

Экспериментал тадқиқот натижаларини олиш учун қурилмадаги маълум нуқталар танланган (1-расм.в), нуқталардаги ҳароратларнинг рақамли қийматлари 1-жадвалда келтирилган.

Ушбу тадқиқот натижаларига кўра ёпиқ қуритиш шкафи камераси ичидаги ҳавонинг (буғ-ҳаво аралашмасининг) табиий конвекция жараёни юзага келишига ишонч ҳосил қилиш учун рақамли математик моделлаштириш усули амалга оширилди.



## Экспериментал равишда ўлчанган ҳарорат маълумотлари.

Тажриба ўтказиш вақти, соат	$T_1$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_4$ (°C)	$T_0$ (°C)
10:00	38.81	45.38	41.69	40.81	36.3
11:00	39.13	47.94	43.94	42.19	36.6
12:00	39.44	49.06	44.56	42.56	37.2
13:00	40.31	51.25	46.56	44.06	37.8
14:00	40.63	51.44	48.56	43.19	37.2
15:00	40	52.75	47.81	44.5	37.8
16:00	44	56	52	46.81	41
17:00	45.69	55.19	52.56	47.81	41.12
18:00	40.63	50.06	47.69	42.13	39.98
19:00	38.06	42.63	41.63	37.06	37.11
07:00	22.31	27.5	23.75	22.75	22.12

## Ечиш усули.

Gr-Грасгоф критерияси (мезони), ёпишқоқ ишқаланиш кучлари ва кўтариш кучининг нисбатини тавсифловчи совутиш суюқлигининг эркин ҳаракатланиш режимини тавсифлайди, тизимнинг геометрик ўхшашлигини тавсифловчи ўлчовсиз геометрик симплекс усулидир. Симплекс усули барча мумкин бўлган бурчак нуқталарини оддий такрорлашдан четлашиб, оптимал ечимни самарали топишга имкон беради. Усулнинг асосий принципи: ҳисоб-китоблар қандайдир “бошланғич” асосий ечимдан бошланади, сўнгра мақсад функциясининг қийматини “яхшилайдиган” ечимлар учун қидирув ўтказилади.

Яратилган куёш қурилмасидан кўриниб турибдики, қуритиш камераси ёпилгандан кейин ҳаво ундан чиқиб кетиши учун юқори қопқоқнинг ўртасида  $0,1 \text{ м}^2$  ўлчамдаги думалок тешик ўрнатилган. Иссиқлик алмаштиргич ўзининг атрофидаги ҳавони иситганида ҳаво оқими камеранинг юқори қисмида ўрнатилган мўрига томон оқа бошлайди. Қуритиш шкаф камерасида ҳавонинг турбулент оқим режими пайдо бўлади.

Грасгоф сонини ҳисоблаш орқали оқим режимини ҳисоблаймиз:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_h - T_o) \cdot L^3}{\nu_m^2}, \quad (1)$$

Грасгоф сонини қуйидаги дастлабки маълумотлар асосида ҳисоблаймиз:

$$g - \text{Ер сирт юзасида эркин тушиш тезланиши, } g = 9.8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2};$$

$L$  – иссиқлик алмаштиргич сирт юзасининг характерли чизикли ўлчами,  $1 \text{ м}$ ;

$T_h$  – иссиқлик алмаштиргич сирт ҳарорати,  $55^\circ \text{C}$ ;

$T_o$  – иссиқлик ташувчи ҳаво ҳарорати,  $30^\circ \text{C}$ ;

$\nu_m$  – ҳавонинг кинематик ёпишқоқлик коэффициенти,  $\nu = 16 \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}^2}{\text{с}}$ ;

$\beta$  – жуда юқори бўлмаган доимий босимда иссиқлик ташувчи ҳавонинг (буғ-ҳаво аралашмаси) ҳажмий кенгайиш коэффицентининг ҳарорат коэффициенти,  $4,58 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$  ( $40\text{—}60^\circ \text{C}$  ҳароратда);

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu_m^2} = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_h - T_o) \cdot L^3}{\nu_m^2} = 3,6 \cdot 10^9. \quad (2)$$

Масалан, муаллифларнинг фикрига кўра [6],  $Gr \cdot Pr > 10^9$  шарт бажарилганда газ оқими турбулент деб тахмин қилинади. Бизнинг ҳолатда, Агар Прандтл сони  $Pr = 0.7$ , деб қабул қилинса, биз  $Pr \cdot Gr = 2.1 \cdot 10^9$  қийматини оламыз. Шундай қилиб, бу қиймат берилган критик





қийматдан каттарокдир [5], шунинг учун турбулент ўзгаришларни ҳам ҳисоблаш мумкин бўлади. Ренольдс сонига кўра, қуритгич ичидаги тезлик тахминан 0,02 м/с ва қуритгичнинг характерли геометрик ўлчами 1 м, кейин бу маълумотлар билан Ренольдс сони қуйидагича аниқланган:

$$Re = \frac{0,02 \cdot 1}{0,16 \cdot 10^{-6}} = 1250$$

Демак, қуритиш камерасининг айрим қисмларида турбулент ўзгаришлар пайдо бўлиши мумкин деган хулосага келиш мумкин.

Турбулент оқим турли йўналишларда ва турли текисликларда айланадиган гирдоблар тўплами сифатида ифодаланиши мумкин. Катта қуйқалар кичик қуйқаларга айланади ва кичик қуйқалар, яъни, катталиги молекуланинг эркин югуриш йўлидан бироз ошиб кетадиган қуйқалар ўз энергиясини ёпишқоқ иссиқлик энергиясига айлантиради. Дастлаб, бу жараён А.Н. Колмогоров томонидан ишлаб чиқилган ва энергия каскади деб номланган.

Ламинар ва турбулент ҳаво ҳаракатлари ўртасида юқорида айтиб ўтилган корреляцияни ҳисобга олган ҳолда, бўйлама ҳарорат тақсимотининг чуқурлаштирилган ҳаво каналлари билан қуёш ҳаво коллекторининг каналларида ҳаво тезлигига бевосита боғлиқлиги асосида математик модель ишлаб чиқилди.

Юқоридагиларни эътиборга олган ҳолда, Ренольдс тенгламалари ва Буссинеск гипотезасини ҳисобга олган ҳолда ҳароратнинг тақсимланиш тенгламаларини қуйидаги кўринишда келтириш мумкин бўлади [6,7,8,9]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}_i \bar{u}_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\rho \partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( (\nu + \nu_t) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) + g \beta (\bar{T} - \bar{T}_0), \\ \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u}_i \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( (\kappa + \kappa_t) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right) \\ \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0, \quad (i, j = 1, 2, 3). \end{cases} \quad (3)$$

Бу ерда  $\bar{u}_i$  - ҳаво оқими тезлигининг бўйлама ва кўндаланг компонентлари;  $\bar{p}$  - гидростатик босим;  $\bar{T}$  - ҳарорат;  $g$  - эркин тушишнинг тезлашиши;  $\beta$  - иссиқлик ташувчи ҳавонинг ҳажмий кенгайишида ҳарорат коэффиценти;  $\nu_l$  ва  $\nu_t$  - ламинар ва турбулент ёпишқоқлик компонентлари;  $\kappa = \frac{\nu}{Pr}$ ,  $\kappa_t = \frac{\nu_t}{Pr_t}$ , бу ерда  $Pr_l$  ва  $Pr_t$  - Прандтл сони ламинар ва турбулент оқим режимларига тегишли.

Юқоридаги Ренолдс тенгламасида Ренолдс ўзгаришлар деб номланган номаълум атамалар ҳосил бўлади. Ҳозирги вақтда Ренолдс ўзгаришларни аниқлаш учун жуда кўп турли хил ярим эмпирик моделлар мавжуд. Масалан, Спаларт-Аллмарас модели.

Спаларт-Аллмарас модели деворлар билан чегараланган оқимларни ўз ичига олган аэрокосмик дастурлар учун махсус ишлаб чиқилган ва у чегара қатламлари учун, ҳатто салбий босим градиентларига дучор бўлганлар учун ҳам яхши натижалар бериши кўрсатилган [10].

Бизнинг ишимизда Спаларт-Аллмарас модели шаклга эга бўлган турбулент ёпишқоқликни аниқлаш учун қуйидаги модель ишлатилди:

$$\frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} + u_j \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_j} = C_{b1} (1 - f_{t2}) \tilde{S} \tilde{v} - \left[ C_{w1} f_w - \frac{C_{b1}}{k^2} f_{t2} \right] \left( \frac{\tilde{v}}{d} \right)^2 + \frac{1}{\sigma} \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} \left( (v + \tilde{v}) \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_j} \right) + C_{b2} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_i} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_i} \right]. \quad (4)$$

Бу ерда турбулент алмашинув коэффициенти куйидагича аниқланган:

$$v_t = \tilde{v} f_{v1}.$$

Моделнинг қўшимча функциялари ва константалари [10] да берилган.

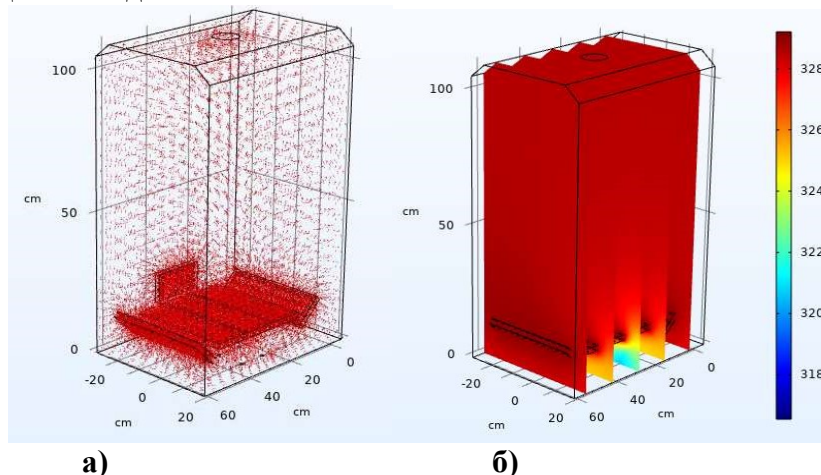
Регрессия таҳлили воситалари ва 1-жадвалдан фойдаланиб, уларни чегара шартлари сифатида ишлатиш учун ён (ёқлар) чегаралардаги ( $T_0$ ) ва манбадаги ( $T_1$ ) ҳароратга боғлиқлик функциялари олинади.

Тенгламалар тизими (3) учун фақат ҳарорат қийматлари дастлабки шартлар сифатида ўрнатилди:  $T(x, y, z, t_0) = T_0(x, y, z)$ . Тезлик қийматлари нолга тенг деб тахмин қилинган. Муаммо параллелепипед учун  $0 < x < X, 0 < y < Y, 0 < z < Z$  шартларда ҳал қилинди. Ён чегаралардаги чегара шартлари сифатида ҳарорат  $T_0$  учун тегишли функцияси,  $T_1$  учун эса пастдан боғлиқлик функцияси ўрнатилди. Тезликлар учун параллелепипед деворларига ёпишиш ҳолати ўрнатилиб, симметрия шarti тезликлар учун пастдан чегара шартлари сифатида ўрнатилди.

Асосий тенгламаларни ўлчашдан кейин ишда фарқни тахмин қилиш учун SIMPLE назорат ҳажми усули қўлланилган [10]. Интеграциялаш  $\Delta t < 0.001$  вақт босқичларида (қадамларда) амалга оширилди. Симуляция  $t=0$  с дан бошланган ва 1-сонли қатъий рақам ёрдамида тажрибада берилган вақтгача симуляция қилинган. 1623235 нуқта (балл) ишлатилган, панжара тешилган плиталар ёнида қалинлашган. Дастлабки ва чегара шартлари учун 1-жадвалдан экспериментал маълумотлар қабул қилинди. Муаммо стационар бўлмаган ҳолатда уч ўлчовли ҳисобланди.

### Олинган натижалар ва таҳлиллар.

3(а)-расмда вертикал текисликда ва қуриштиш камерасида ҳавонинг тезлик майдони кўрсатилган. Шкафдаги ҳарорат маълумотлари кельвинларда берилган. Расмдан кўриниб турибдики, керакли плиталарнинг тегишли танлови билан ҳарорат қуриштиш камераси бўйлаб тенг равишда тақсимланади.



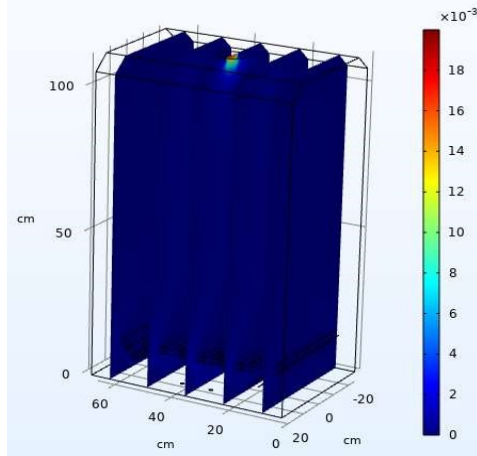
3-расм. Вертикал текисликда ва унинг изолиниясида камера бўйлаб ҳароратнинг тақсимланиши (Кельвинда).

3(б)-расмда қуриштиш камераси бўйлаб ҳарорат йўналишларининг изолинлари (изочизиқлари) кўрсатилган. Ушбу изолинлардан ҳарорат оқими қуриштиш камерасининг бутун майдонига етиб боради деган хулосага келиш мумкин.

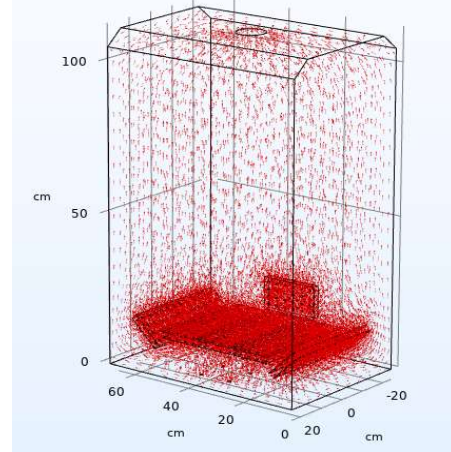


4(а)-расмда (в) қуришиш камерасидаги ҳавонинг тезлик майдонлари кўрсатилган. Ўлчовдан кўришиб турибдики, тезлик деярли бутун қуришиш камерасида минтақада бир хил ва тахминан 0,004-0,006 м/с га тенг, фақат юқори тешик яқинида, майдоннинг пасайиши туфайли бироз ўсиш кузатилади.

4(в)-расмда қуришиш камераси бўйлаб тезлик изолинларини кўрсатади. Расмдан кўришиб турибдики, тезлик оқими қуришиш камерасининг барча жойларига етиб боради.



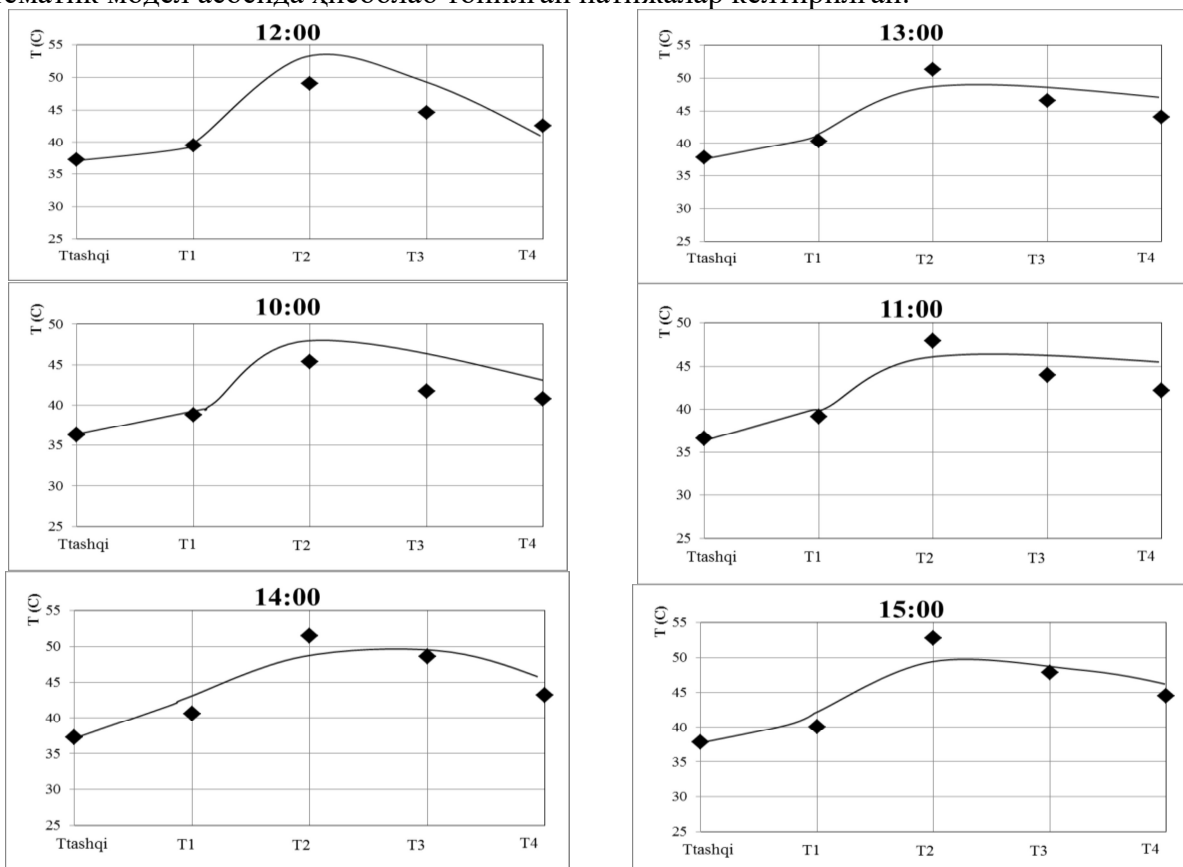
а)



в)

4-расм. Майдон (а) ва қуришиш камераси бўйлаб тезликнинг изолинлари (в).

5-расмда қуришиш камераси нуқталарида эксперимент асосида ўлчанган ва ҳисобланган ҳароратлар миқдорларининг таққосланган қийматлари график кўринишида тасвирланган: 5-расмда қора нуқталар – экспериментал тадқиқот натижалари, силлиқ эгри чизиқлар математик модел асосида ҳисоблаб топилган натижалар келтирилган.



5-расм. Кун давомида танланган нуқталарда ҳароратларнинг экспериментал ва ҳисоблаш маълумотларининг боғланиши.

Назарий (ҳисоблаш) ва тажриба асосида топилган ҳароратлар қийматлар ўртасидаги нисбий хатолик қуйидаги формула билан топилди:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}_i|}{\bar{y}_i} 100\% \quad (5)$$

бу ерда  $y_i$  – экспериментал қийматлар,  $\bar{y}_i$  – назария (ҳисоблаш) асосида топилган қийматлар,  $n$  – экспериментал нуқталар сони.

Ҳисоб-китобларга кўра, барча тажрибалар учун нисбий хатолик 6% дан ошмайди. Бу шуни англатадики, математик модель қуритгич камераси ичидаги ҳаво конвекция жараёнининг бўлишини етарлича тасвирлайди.

**Хулоса.** Яратилган қуёш қуритиш қурилмасида тажриба ўтказиш орқали дастлабки маълумотлар олинган, уларга кўра қурилмага тегишли Грасгоф сони ҳисоблаб чиқилган ва ҳавонинг табиий равишда турбулент оқим пайдо бўлиши ўрнатилди.

Шунга асосланиб, Бусинес яқинлашувида масса, импульс ва энергиянинг сақланиш қонуни ҳамда турбулент ўзгаришларни аниқлаш учун Спаларт-Аллмарас модели ёрдамида табиий ҳаво конвекциясининг барқарор оқими учун дифференциал тенгламалар тизими танланди. Муаммони ҳал қилиш учун SIMPLE бошқарув ҳажми усули қўлланилди [11]. Интеграция  $\Delta t < 0.001$  вақт босқичларида (қадамларида) амалга оширилди. Симуляция  $t=0$  вақтдан бошланган ва тажрибада берилган вақтгача моделлаштирилган.

Ҳавонинг (буғ-ҳаво) қуёш қуритгичига кириш ва ундан чиқиш қисмларида ҳаво ҳароратларининг боғлиқлиги ўрнатилди, ҳароратни иссиқлик манбаи (иссиқлик алмаштиргич) сирт юзасида экспериментал ўлчаш ва ҳисобланган маълумотлар асосида ҳароратнинг вақтга боғлиқлигининг таққосланган маълумотлари ўрнатилди, яъни, ўзаро боғлиқ ўзгарувчилар ўртасида яққол тасвири кўп ўлчамли таҳлил асосида таққосланди ва ўрнатилди. Танлаб олинган математик моделнинг самарадорлигини баҳолаш учун ўртача 6% нисбий хатолик аниқланди.

Моделлаштириш шуни кўрсатдики, камера ҳажми бўйича ҳарорат тақсимоти деярли бир хил.

Ушбу режимда камеранинг чиқиш қисмида ҳавонинг (буғ-ҳаво) табиий равишда чиқиш тезлиги деярли бир хил бўлиб қолиши ва унинг максимал тезлиги 0,01-0,02 м/с га тенг бўлиши ўрнатилди.

Моделнинг баҳолашича, бундай мавжуд камераларда табиий ҳаво айланиши иссиқ ҳаво ҳаракатини ишончлилик даражасини оширади.

## Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. — New Jersey, 2013.
2. Poonam Rani, P.P. Tripathy. Thermal characteristics of a flat plate solar collector: Influence of air mass flow rate and correlation analysis among process parameters// Solar Energy 211 (2020) 464–477. [www.elsevier.com/locate/solener](http://www.elsevier.com/locate/solener)
3. A.A. El-Sebaili, S. Aboul-Enein, M.R.I. Ramadan, H.G. El-Gohary. Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer. Energy Conversion and Management 43:2251-2266 (2002).
4. Mohanraj M., Chandrasekar P. Performance of a Forced Convection Solar Drier Integrated with Gravel as Heat Storage Material for Chili Drying. Journal of Engineering Science and Technology. 2009. 4(3): 305-314.
5. Mirzaev Sh., Kodirov J., Khamraev S.I. Method for determining the sizes of structural elements and semi-empirical formula of thermal characteristics of solar dryers//APEC-V-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1070(2022) 012021 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/1070/1/012021





6. Абрамов А. Г. Течения жидкости в полях объемных сил. Ламинарные режимы и устойчивость свободноконвективных течений: учеб. пособие /А. Г. Абрамов, Н. Г. Иванов, В. В. Рис. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. –114 с.
7. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М: «Наука», 1974. 712 с.
8. Гебхарт Б., Джалурия Й., Махаджан Р.Л., Саммакия Б. Свободно-конвективные течения, тепло и массообмен. Кн. 2. - М.: Мир, 1991. - 678с.
9. Jumayev J., Shirinov Z., Kuldashv N. Computer simulation of the convection process near a vertically located source. International conference on information Science and Communications Technologiyes (ICISCT) 4-6 november. 2019. Tashkent. Conference Proceedings. pp.635-638. DOI:10.1109 /ICISCT 47635.2019.9012046
10. Spalart P. R., Allmaras S. R. “A one-equation turbulence model for aerodynamic flows”, AIAA Paper 1992-0439.
11. Patankar, Suhas V., and D. Brian Spalding. “A Calculation Procedure for Heat Mass and Momentum Transfer in Three Dimensional Parabolic Flows” International Journal of Heat Mass Transfer 15 (1972): 1787-1806.